

# **ВВЕДЕНИЕ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКУЮ ТЕХНИКУ**

*Учебное пособие в двух томах*

*Под общей редакцией заведующего базовой кафедрой  
управления и информационных технологий в космических системах  
ГБОУ ВО МО «Технологический университет» профессора,  
заслуженного деятеля науки Российской Федерации Г. Г. Вокина*

## **ТОМ 2 КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ИХ СИСТЕМЫ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*2-е издание*

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2021

УДК 629.76/.78  
ББК 39.6  
В24

*А в т о р ы :*

*А. П. Аверьянов, Л. Г. Азаренко, Г. Г. Вокин, Н. А. Кащеев,  
Л. А. Мачнева, В. С. Чаплинский*

*Р е ц е н з е н т ы :*

доктор технических наук, профессор  
*В. А. Чобанян* (ВА РВСН имени Петра Великого);  
кандидат технических наук, доцент *А. А. Роганов* (РГУТиС)

**В24**      **Введение в ракетно-космическую технику** : учебное пособие  
в двух томах. Том 2. Космические аппараты и их системы. Проектирование  
и перспективы развития ракетно-космических систем / [А. П. Аверьянов  
и др.] ; под общ. ред. Г. Г. Вокина. – 2-е изд. – Москва ; Вологда :  
Инфра-Инженерия, 2021. – 444 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-0682-6  
ISBN 978-5-9729-0684-0 (Т. 2)

Даны теоретические и прикладные сведения из информатики, радиотехники, электроники и автоматики по всем основным разделам ракетно-космической науки и техники. Глубокое понимание вопросов, освещаемых настоящим изданием, необходимо для лиц, готовящихся стать хорошими специалистами в области разработки и использования космических систем различного назначения, в том числе систем связи, навигации, телевидения и мониторинга.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 24.00.00 «Авиационная и ракетно-космическая техника», 25.00.00 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной и ракетно-космической техники» и смежным с ними. Книга может быть полезной широкому кругу читателей, интересующихся ракетной техникой и космонавтикой.

УДК 629.76/.78  
ББК 39.6

ISBN 978-5-9729-0682-6      © Издательство «Инфра-Инженерия», 2021  
ISBN 978-5-9729-0684-0 (Т. 2) © Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Ракетно-космическая наука и техника по своему содержанию являются, как известно, научно-техническими областями знаний синтетического характера. Их предметные области, связанные, в первую очередь, с осуществлением полетов в околоземном космическом пространстве и к небесным телам Солнечной системы, опираются на результаты и достижения целого ряда фундаментальных и прикладных наук. К этим наукам, в первую очередь, надо отнести механику, физику, радиоэлектронику, электротехнику, автоматику, астрономию, химию, теплотехнику, физику твердого тела, сопротивление материалов и т.д.

Для студентов, готовящихся стать специалистами в области создания космических систем научного, оборонного или социально-экономического назначения, в основе которых лежит широкое использование упомянутых выше областей науки и техники, а также смежных с ними научно-технических дисциплин, необходимо иметь четкие представления как об условиях работы космических средств целевого назначения, так и о требованиях к их характеристикам со стороны объектов-носителей этих средств – ракет и космических аппаратов по самым разным аспектам. Эти сведения студенты получают, как правило, при чтении курсов вводного характера, содержание которых носит, как правило, усеченный характер и их до сих пор нельзя считать устоявшимися. На практике же при выполнении конкретных разработок студенты, аспиранты или молодые специалисты сталкиваются с очень широким кругом смежных вопросов, сопрягающихся с предметной областью ракетно-космической техники, которые при чтении учебных курсов по специальности не рассматриваются. Опыт чтения учебных курсов и подготовки специалистов в области космических систем различного назначения привел к выводу о целесообразности подготовки специального учебно-справочного пособия, в котором бы в краткой и доступной форме излагались ключевые сведения, прежде всего прикладного характера из всех основных и смежных разделов ракетно-космической науки и техники, в чем, как правило, нуждаются будущие специалисты космического профиля как в учебной, так в практической работе.

При подготовке издания учтен опыт чтения вводных и специальных курсов для студентов и аспирантов, а также опыт руководства дипломным проектированием и практическими занятиями. При отборе тематических материалов для данного пособия широко использовались хорошо апробированные и отработанные информационные источники отечественных и зарубежных научно-технических изданий и периодической печати.

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АВТ	- антенно-волновой тракт
АГСК	- абсолютная геоцентрическая система координат
АДХ	- аэродинамические характеристики
АЕ	- Астрономический ежегодник
АҚД	- аппаратура канала данных
АКК	- авиационно-космический комплекс
АМС	- автоматическая межпланетная станция
АП	- антенный привод
АППИ	- автономный пункт приёма информации
АРУ	- автоматическая регулировка мощности
АРККН	- авиационно-космический комплекс космического назначения
АРМ	- автоматизированное рабочее место
АС	- антенная система
АСК	- автоматизированная система конструирования
АСН	- аппаратура спутниковой навигации
АСПР	- автоматизированная система плановых расчётов
АСПР	- автоматизированная система проектирования
АСУ	- автоматизированная система управления
АСУТП	- автоматизированная система управления технологическими процессами
АТ	- азотный тетраоксид
АТС	- автоматическая телефонная станция
АТТ	- аттенюатор
АЦП	- аналогово-цифровой преобразователь
АЦП	- аналогово-цифровой преобразователь
АЧХ	- амплитудно-частотная характеристика
БА	- бортовая аппаратура
БАКИС	- бортовая аппаратура командно-измерительной системы
ББ	- боевой блок
БКС	- бортовая кабельная сеть
БКУ	- бортовой комплекс управления
БРПЛ	- баллистические ракеты подводных лодок
БРТК	- бортовой ретрансляционный комплекс
БЦВМ	- бортовая цифровая вычислительная машина
ВБР	- вероятность безотказной работы
ВКС	- воздушно-космический самолёт
ВКС	- вводная коммутационная стойка
ВМФ	- военно-морской флот
ВУ	- воспроизводящее устройство
ГВЗ	- групповое время запаздывания
ГИС	- геоинформационная система

ГК	- грузовой корабль
ГКНПЦ	- государственный космический научно-производственный центр
ГКИ	- галактическое космическое излучение
ГЛОНАСС	- глобальная навигационная спутниковая система
ГМВ	- геомагнитная возмущённость
ГМО	- гидрометеорологическое обеспечение
ГОСК	- абсолютная геоцентрическая система координат
ГРЦ	- государственный ракетный центр
ГСО	- геостационарная орбита
ГФО	- геофизическое обеспечение
ГЧ	- головная часть
ДЗЗ	- дистанционное зондирование Земли
ДМ	- демодулятор
ДМ	- делитель мощности
ДМВ	- декретное московское время
ДО	- датчики ориентации
ДУ	- двигательная установка
ЖРД	- жидкостной ракетный двигатель
ЗАО	- закрытое акционерное общество
ЗИП	- запасные части, инструмент, принадлежности
ИГД	- исходные геодезические данные
ИИ	- ионизирующее излучение
ИО	- исполнительные органы; информационное обеспечение
ИПМ	- институт проблем механики
ИС	- информационные средства
ИСЗ	- искусственный спутник Земли
ИСУ	- интегрированная система управления
ИТНП	- измерение текущих навигационных параметров
КА	- космический аппарат
КБ	- конструкторское бюро
КВ	- короткие волны
КВРБ	- кислородно-водородный разгонный блок
КД	- космическая деятельность
КИС	- командно-измерительная система
КК	- космический корабль
КНС	- космическая навигационная система
КРК	- космический ракетный комплекс
КРТ	- компоненты ракетного комплекса
КС	- космическая система
КС	- космическая система
КТС	- комплекс технических средств
КТСОП	- коммутируемая телефонная сеть общего пользования
КУ	- контроллер управления
ЛА	- летательный аппарат

ЛВС	- локальная вычислительная сеть
ЛИ	- лётные испытания
ЛК ТДВ	- лунный космический театр военных действий
ЛШ	- логическая шкала
МАКС	- многоцелевая авиационно-космическая система
МБР	- межконтинентальная баллистическая ракета
МГУ	- Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
МКА	- малый космический аппарат
МКС	- Международная космическая станция
ММД	- математическая модель движения
МТГ	- микрофонно-телефонная гарнитура
МУ	- мощности усилитель
МШУ	- малозумящий усилитель
МЭМС	- микро электро механические системы
НАКУ	- наземный автоматизированный комплекс управления
НАП	- навигационная аппаратура потребителей
НАП	- навигационная аппаратура потребителя
НАСА	- национальное агентство по авионавтике и исследованию космического пространства, США
НВ	- навигационный вычислитель
НДМГ	- несимметричный диметилгидрозин
НИР	- научно-исследовательская работа
НКУ	- наземный комплекс управления
НО	- направленный ответвитель
НП	- навигационный процессор
НПО	- научно-производственное объединение
НС	- наземная станция
НССК	- начальная стартовая система координат
НТ	- навигационная точка
НФП	- новые физические принципы
НШС	- нештатная ситуация
ОА	-оптическая аппаратура
ОБС	- орбитальная базовая станция
ОГ	- опорный генератор
ОГР	- ограничитель
ОЗЭ	- общий земной эллипсоид
ОК	- орбитальный корабль
ОКР	- опытно-конструкторская работа
ОКС	- обитаемая космическая станция
ОЛ	- орбитальные лаборатории
ООД	- окончное оборудование данных
ООН	- Организация объединённых наций
ООС	- обитаемая орбитальная станция

ОП	- объект проектирования
ОПС	- орбитальная пилотируемая станция
ОПУ	- опорно-поворотное устройство
ОС	- орбитальная станция
ОФМ	- относительная фазовая модуляция
ОСПО	- общесистемное программное средство
ПГ	- полезный груз
ПЕР	- передатчик
ПК	- пилотируемый корабль
ПК ТДВ	- приземный космический театр военных действий
ПКО	- противокосмическая оборона
ПО	- программное обеспечение
ПП	- приёмо-передатчик
ПР	- приёмник
ПРО	- противоракетная оборона
ПУ	- пусковая установка
ПУ	- предварительный усилитель
ПУИ	- пульт управления и индикации
ПУМ	- предварительный усилитель мощности
ПФ	- полосовой фильтр
ПШ	- подавление шумов
РАН	- Российская академия наук
РБ	- разгонный блок
РВСН	- Ракетные войска стратегического назначения
РДТТ	- ракетный двигатель твердого топлива
РК	- ракетный комплекс
РКД	- результаты космической деятельности
РКА	- Российское космическое агентство
РКК	- ракетно-космическая корпорация
РКК	- ракетно-космический комплекс
РКН	- ракета космического назначения
РКТ	- ракетно-космическая техника
РН	- ракета-носитель
РСН	- ракета стратегического назначения
РСУ	- радиотехнические средства управления
РТР	- ретранслятор
РТС	- радиотехническая система
РУ	- развёртывающее устройство
РЭП	- радиоэлектронное подавление
СА	- солнечная активность
САК	- система атмосферной коррекции
САПР	- система автоматизированного проектирования
САС	- система аварийного спасения
САС	- стойка автосопровождения

СБ	- солнечная батарея
СвСК	- связанная система координат
СВЧ	- сверхвысокая частота
СДУ	- система дифференциальных уравнений
СДК	- система доатмосферной коррекции
СЖО	- система жизнеобеспечения
СК	- система координат
СК	- стартовый комплекс
СКК	- стартовая система координат
СККП	- система контроля космического пространства
СкСК	- скоростная система координат
СМ	- смеситель
СНГ	- Союз независимых государств
СНПИ	- система накопления и передачи информации
СОИ	- стратегическая оборонная инициатива
СОС	- система ориентации и стабилизации
СОТР	- система обеспечения тепловых режимов
СП	- сигнальный процессор
СПр	- система прицеливания
СПД	- система передачи данных
СС	- средства связи
ССС	- станции спутниковой связи
ССКУ	- спутниковая система контроля и управления
ССН	- система самонаведения
СТИ	- система телеметрических измерений
СТИ	- сложное техническое изделие
СТН	- система терминального наведения
СТС	- сложная техническая система
СТР	- система терморегулирования
СУ	- система управления
СУА	- система управления антенной
СУД	- система управления движением
СФССВ	- сегмент фиксированной спутниковой связи и вещания
СЭ	- средства эксплуатации
СЭП	- система энергопитания
СЭС	- система электроснабжения
ТВ	- телевизионное вещание
ТВ	- телевизионное вещание
ТГ	- тональный генератор
ТГК	- транспортный грузовой корабль
ТЗ	- техническое задание
ТК	- технический комплекс
ТКС	- телекомандная система; транспортный корабль снабжения
ТЛФ-КОА	- телефонная каналобразующая стойка



ТО	- технический облик
ТП	- техническое предложение
ТПК	- транспортный пилотируемый корабль
ТС	- техническая система
ТСОД	- территориальная система обмена данными
ТТ	- тест-транслятор
ТТ	- технические требования
ТТЗ	- тактико-техническое задание
ТТО	- транспортно-техническое обеспечение
ТТХ	- тактико-технические характеристики
ТХ	- технические характеристики
ТЭО	- технико-экономическое обоснование
У	- усилитель
УВЧ	- усилитель высокой частоты
УДУ	- управляющая двигательная установка
УКВ	- ультракороткие волны
УКП	- унифицированная космическая платформа
УПС	- устройство преобразования сигналов
УПЧ	- усилитель промежуточной частоты
УПЧ	- усилитель промежуточной частоты
УРМ	- универсальный ракетный модуль
УС	- устройство синхронизации
ФНЧ	- фильтр низкой частоты
ФП	- фотопреобразователь
ФП	- фотоэлектрический преобразователь
ФПЧ	- фильтр промежуточной частоты
ФЭП	- фотоэлектрический преобразователь
ЦА	- целевая аппаратура
ЦАП	- цифро-аналоговой преобразователь
ЦУ	- целеуказание
ЦУП	- центр управления полетами
ЧМ	- частотная модуляция
ЭА	- электронная аппаратура
ЭВМ	- электронно-вычислительная машина
ЭДС	- электродвижущая сила
ЭСП	- электросилового привод
ЭИИМ	- эффективная изотропно-излучаемая мощность
ЭМИ	- электромагнитный импульс
ЭП	- эскизный проект
ЭТХ	- эксплуатационно-технические характеристики
ЭУ	- энергоустановка
ЯЭУ	- ядерная энергоустановка
ВЛН	- геодезическая система координат: Н – геодезическая высота, В - геодезическая широта, L - геодезическая долгота

## ВВЕДЕНИЕ

XX век для человечества оказался самым продуктивным в области развития науки и техники за всю историю существования человеческой цивилизации. Получили существенное развитие не только традиционные науки фундаментального характера, но и возникли новые научные области, научные направления и новые виды техники. Особый прогресс характерен для прикладных исследований и разработок, в результате которых появились неизвестные до XX века такие виды техники, как атомная техника, радиоэлектроника, автоматика, вычислительная техника, биотехнология, авиационная техника, ракетно-космическая техника. При этом следует особо подчеркнуть, что при создании ракетно-космической техники человечество перешло качественную грань в своем развитии. Показательно, что ракетно-космическая техника, как никакой другой вид техники, впитала результаты многих наук и технических достижений. Человек вывел в космос рукотворные аппараты, в том числе и пилотируемые, стал изучать прямыми наблюдениями околоземное пространство, а также Луну, Марс, Венеру и другие небесные тела. В результате симбиоза атомной и ракетной техники создано ракетно-ядерное оружие, которое обеспечило не только безопасность нашей страны, но и удержало многие страны от военных столкновений большого масштаба. Более того, на основе ракетной техники созданы космические системы как оборонного, так и социально-экономического назначения. Эти системы по назначению и используемому научно-техническому арсеналу очень разнообразны, поскольку для своего создания требуют применения результатов целого ряда наук и технических достижений. В связи с этим возникают серьезные трудности в подготовке высококвалифицированных специалистов как в вузах, так и в аспирантурах. Традиционные учебные курсы, читаемые по специальности, как правило, очень слабо взаимосвязаны, в то время как при создании космических систем требуется достаточно широкая эрудиция и необходимо использование системного подхода.

Как для проведения исследований и разработок, так и для эксплуатации космических систем совершенно недостаточно знания отдельных предметных научных областей, например, радиоэлектроники, автоматики или вычислительной техники. Как правило, надо хорошо ориентироваться в вопросах баллистики ракет и космических аппаратов, знать условия работы аппаратуры в космосе или на поверхности небесного тела, учитывать свойства атмосферы Земли, понимать вопросы управления космическими аппаратами, а также владеть методами накопления, хранения и обработки больших массивов информации и т.д. и т.п.

Очевидно, что для подготовки специалистов с требуемыми квалификационными характеристиками, необходимыми для выполнения практических работ в области создания и использования космических систем, надо иметь, как минимум, соответствующие учебные пособия. Цель подготовки настоящего учебного пособия состоит в устранении в некоторой степени этого пробела в учебной литературе.

Материалы подготовленного учебного пособия сгруппированы в 2 тома, при этом по условиям издания каждый из томов выпускается в виде отдельной книги. Для ориентировки и удобства пользования в каждом томе помещены предисловие и введение, относящиеся ко всему учебному пособию.

В томе 1 – Общие сведения. Космодромы. Наземные средства контроля и управления ракетами и космическими аппаратами. Ракеты – приведены общие сведения о Солнечной системе, даны классификация и общая характеристика объектов ракетно-космической техники, приведены основные сведения о космодромах и наземных средствах внешнетраекторных измерений, телеметрии, связи и управления ракетами и космическими аппаратами. Приведены краткие исторические сведения о создании ракет, изложены принципы построения ракет и ракет-носителей, приведены сведения по основам баллистики ракет и устройству их двигательных установок, описаны принципы построения систем управления и вспомогательных систем, а также дано описание этапов испытаний и эксплуатации ракетно-космических систем.

В томе 2 – Космические аппараты и их системы. Проектирование и перспективы развития ракетно-космических систем – представлены элементы космической баллистики, описаны пилотируемые и непилотируемые космические аппараты и созданные на их основе системы научного, оборонного и социально-экономического назначения. Отражены этапы и методы системного проектирования ракетно-космических объектов и их систем с учетом вопросов экономической эффективности использования средств ракетно-космической техники, а также с учетом вопросов экологии. В заключение кратко освещаются тенденции развития основных объектов ракетно-космической техники как наземного, так и орбитального сегментов.

# ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ИХ СИСТЕМ

## 1.1. Общие сведения о космических аппаратах

Вывод на орбиту вокруг Земли Советским Союзом 4 октября 1957 г. искусственного спутника положил начало космической гонке. На начальном её этапе, проходившем в условиях «холодной» войны, главные побудительные причины, задававшие тон в этом марафоне, носили политический и военный характер. Престиж и безопасность государства – вот основные цели, ради которых ведущие космические державы не жалели финансовых средств. Интенсивность запусков к середине 1960-х гг. достигла рекордной величины. Так, число КА, запущенных в 1966 г. зарубежными странами, составило 101 аппарат. Переход от использования отдельных КА, запускаемых время от времени, к постоянно функционирующим на орбитах системам произошел очень быстро и носил лавинообразный характер [1.1].

Наступивший к началу 1970-х гг. спад интенсивности в выведении КА явился следствием того, что основные космические системы (разведка, навигация, связь, метеорология, предупреждение о ракетном нападении) к этому времени были уже развернуты, началась их штатная эксплуатация и эволюционный процесс совершенствования. Снижению числа выводимых КА способствовали также технологические достижения, позволившие значительно увеличить их сроки активного функционирования. При этом активность в космической деятельности не уменьшилась. К космосу приобщались все новые страны, что особенно ярко проявилось в обеспечивающей наибольшие выгоды области космической деятельности – спутниковой связи.

В настоящее время космической деятельностью в той или иной степени занимаются все ведущие страны мира и многие из числа развивающихся стран. При этом следует учитывать, что диапазон степени участия в космической деятельности различных стран очень велик – от использования отдельных каналов связи до полномасштабного и всестороннего применения космических средств для решения широкого круга гражданских и военных задач. Причем, если единичные задачи (в частности, связь) решаются огромным количеством государств (до 170...180), то многосторонней космической деятельностью, охватывающей военные, хозяйственные, научные, социальные и другие сферы жизни, имеют возможность заниматься лишь несколько государств. Около 30 стран имеют государственные космические программы и реализуют их в конкретных средствах.

Только 5 зарубежных государств, кроме России, имеют все необходимые условия для широкомасштабной космической деятельности – это США, Франция, Япония, Китай и Индия. Только эти государства располагают средствами для запуска полезных нагрузок в космос: носителями и полигонами запуска.

19 стран обладают производственной и научной базой, позволяющей им разрабатывать и производить собственные КА. Следует отметить, что

большинство из них способны создавать только небольшие КА экспериментального назначения. Так, из 23 стран, имеющих собственные космические средства связи, 17 используют КА, разработанные иностранными фирмами.

Большинство стран использует космические средства для решения гражданских задач. При этом многие из них имеют возможности использовать космические средства для обеспечения военных нужд. Это относится к данным, получаемым от КА исследования природных ресурсов Земли, доступ к которым имеют уже десятки стран и уровень информативности которых постоянно возрастает. Космические средства связи и метеообеспечения являются не менее доступными для десятков стран и также могут использоваться для обеспечения военной деятельности.

Развитие космонавтики после 2000 г. идет по пути интеграции государств в области исследования и использования космического пространства, объединения их научного, технического и производственного потенциалов для решения глобальных задач. Здесь следует отметить решение таких задач, как открытие нетрадиционных источников энергии и способов передачи этой энергии из космоса; получение новых материалов; создание системы безопасности под эгидой ООН для защиты Земли от столкновений с астероидами и метеоритами, включая удаление радиационных отходов, прогноз стихийных бедствий (таких как землетрясения, цунами), контроль чрезвычайных ситуаций; разработка новых биопрепаратов и лекарств и многих других задач.

Эта интеграция в десятки раз экономит временные и материальные ресурсы государств при решении указанных и других задач развития цивилизации на Земле. Конечно, задачи будут решаться и в интересах каждой страны в целях повышения благосостояния ее народа и обеспечения безопасности. Здесь основную роль будут играть национальные космические программы.

Ниже приводим определение «Космический аппарат» и «Пилотируемый космический аппарат» в соответствии с ГОСТом.

*Космический аппарат* – техническое устройство, предназначенное для функционирования в космическом пространстве с целью решения задач в соответствии с его назначением.

*Пилотируемый космический аппарат* – космический аппарат, конструктивное исполнение которого предусматривает наличие обитаемого отсека и возможность управления движением и функционированием аппарата космонавтом, находящимся на его борту.

По режиму работы различают следующие типы космических аппаратов [1.2]:

- искусственные спутники Земли – общее название всех аппаратов находящихся на геоцентрической орбите, то есть вращающихся вокруг Земли;
- автоматические межпланетные станции (космические зонды – аппараты, осуществляющие перелёт между Землёй и другими космическими телами Солнечной системы; при этом они могут, как вы-

ходить на орбиту вокруг изучаемого тела, так и исследовать их с пролётных траекторий, некоторые аппараты после этого направляются за пределы Солнечной системы);

- автоматические или пилотируемые космические корабли, которые используются для доставки грузов и человека на орбиту вокруг Земли, а затем их возвращения;
- орбитальные станции – аппараты, предназначенные для длительного пребывания и работы людей на орбите Земли;
- спускаемые аппараты, которые используются для доставки людей и материалов с орбиты вокруг планеты или межпланетной траектории на поверхность планеты;
- планетоходы – автоматические лабораторные комплексы или транспортные средства, для перемещения по поверхности планеты и другого небесного тела.

По выполняемым функциям выделяют следующие типы космических аппаратов [1.3, 1.4]:

- метеорологические;
- навигационные;
- связи, телевидения, телекоммуникационные спутники;
- научно-исследовательские;
- геофизические;
- геодезические;
- дистанционного зондирования Земли;
- военного назначения.

Многие космические аппараты выполняют сразу несколько функций. В общем случае, в полёте космического аппарата выделяются участки выведения, орбитального полёта и посадки. На участке выведения космический аппарат должен приобрести необходимую космическую скорость в заданном направлении. Орбитальный участок характеризуется инерциальным движением аппарата в соответствии с законами небесной механики. Посадочный участок призван погасить скорость возвращающегося аппарата до допустимой посадочной скорости.

Космические аппараты с массой от 500 до 1000 кг считаются малыми, с массой более 1000 кг - большими. По зарубежным источникам малые космические аппараты можно классифицировать следующим образом: миниспутники 500...100 кг, микроспутники 99...10 кг, наноспутники 9...1 кг, пикоспутники 0,9...0,1 кг, фентоспутники менее 0,1кг [1.5].

## 1.2. Типы космических аппаратов

*Научно-исследовательские космические аппараты.* Научно-исследовательские космические аппараты предназначаются для исследований околоземного и межпланетного космического пространства, Луны и планет Солнечной системы, для проведения различного рода экспериментов

в космическом пространстве научного и прикладного значения, для отработки конструкции отдельных систем, узлов и аппаратуры новых, более сложных КА (например, новых систем ориентации, управления, стыковки, посадки и т. д.), научно-исследовательские КА могут быть пилотируемыми и автоматическими [1.3].

К пилотируемым научно-исследовательским КА относятся:

а) орбитальные корабли (ОК), орбитальные лаборатории (ОЛ), орбитальные пилотируемые станции (ОПС) и орбитальные базы-станции (ОБС), предназначенные для изучения околоземного космического пространства;

б) межпланетные корабли, межпланетные и припланетные орбитальные станции, предназначенные для изучения космического пространства, Луны и планет Солнечной системы.

К автоматическим научно-исследовательским КА относятся:

а) ИСЗ на различных орбитах, автоматические орбитальные лаборатории, орбитальные станции (ОС), предназначенные для изучения верхних слоев атмосферы и околоземного космического пространства;

б) автоматические межпланетные станции (АМС), искусственные спутники Луны, Марса и других планет, посадочные модули и планетоходы, предназначенные для изучения космического пространства и планет Солнечной системы.

**Спутники связи.** Спутники связи классифицируются по способу работы (активные и пассивные), типу орбиты, виду линий связи и их количеству.

*Активные* ИСЗ используют ретрансляторы, включающие бортовые приемники и передатчики (со своими антенными системами), работающие на различных частотах. Они принимают сигналы наземной станции, усиливают их, осуществляют преобразование частоты и ретрансляцию на другую наземную станцию. Известны две разновидности передачи принятой информации с борта активных ИСЗ: непосредственная передача информации без запоминания и передача с задержкой, запоминаемой на борту принятой информации.

*Пассивные* ИСЗ представляют собой простые отражатели излучаемых наземными станциями сигналов (без усиления и преобразования их). Известны три вида пассивных ИСЗ связи: сферические отражатели, отражатели в виде облаков или глобальных поясов из металлических диполей, рассеянных на определенных высотах, плоские или линзообразные отражатели.

Орбитальные параметры определяют одну из наиболее важных характеристик систем ИСЗ связи, от размеров которой и требуемой продолжительности непрерывной связи в течение суток зависит количество ИСЗ в системе космической связи. Орбитальные характеристики определяются возможностями РН (при заданной массе ИСЗ), расходами по созданию и поддержанию функционирования систем связи, радиационными условиями.

Определены два основных направления создания орбитальных спутниковых систем связи: системы ИСЗ, обращающихся по эллиптическим орбитам с большим эксцентриситетом, и системы ИСЗ, обращающихся по стационарным и синхронным орбитам.

Системы ИСЗ, обращающихся по эллиптическим орбитам с большим эксцентриситетом, позволяют обеспечить в течение длительного времени с помощью одного ИСЗ-ретранслятора непрерывную связь между отдаленными пунктами. Например, советский ИСЗ связи «Молния-1» обеспечивает продолжительность сеансов связи между Москвой и Владивостоком до 9 ч в сутки.

Учитывая вероятность выхода из строя спутников, следует предусматривать необходимость периодического вывода на орбиту новых ИСЗ взамен вышедших из строя. Среднее время между запусками определяется в основном средним временем безотказной работы КА и сроком службы солнечных батарей.

В состав системы связи помимо орбитальной системы спутников (любого из трех указанных выше типов) входят приемопередающие станции с антенными системами и телеметрическая система контроля параметров бортовой аппаратуры. В состав систем с корректируемыми орбитами ИСЗ входит также командная радиолиния.

В системах на основе активных ИСЗ связи могут использоваться нестабилизированные спутники (с полностью изотропной диаграммой направленности антенны), стабилизированные вращением (обычно имеют механическое устройство противовращения антенного блока), полностью стабилизированные ИСЗ с постоянной ориентацией диаграммы направленности антенны (относительно Земли) и солнечных батарей (относительно Солнца), например ИСЗ связи «Молния-1».

Системы связи с активными ИСЗ могут одновременно через один ИСЗ ретранслировать передачи по 6 тыс. радиотелефонным каналам. Считается практически осуществимым иметь спутники связи, обеспечивающие двустороннюю связь по 12 тыс. каналам (при наличии нескольких ретрансляционных систем). Расчетное время активного существования спутников связи 5...7 лет.

**Метеорологические искусственные спутники Земли.** Метеорологические ИСЗ (метеоспутники) предназначены для регулярной передачи телевизионных изображений облачного и ледового покрова Земли на наземные станции. На ИСЗ также устанавливаются датчики радиационных излучений Земли и облачного покрова, работающие в различных диапазонах частот и другие приборы для анализа метеорологических условий. Получаемая от метеоспутников информация используется для анализа атмосферных процессов и прогнозов погоды [1.3].

По телевизионным и инфракрасным снимкам освещенной и теневой сторон Земли производится анализ облачности (определение её форм, структуры и количества). Эта и другая информация, получаемая с метеоспутников, позволяет составлять оперативные метеорологические карты облачного, ледового и снежного покровов, обнаруживать зарождение ураганов и определять направление и скорость их распространения, различать тип и этапы развития погодных условий, обнаруживать струйные потоки в атмосфере, местные метеорологические явления (шквалы, грозовую активность и т. п.), исследовать тепловой баланс Земли, определять температуру облачного покрова, поверхности суши и океана.



В связи со спецификой требований к метеонаблюдениям для глобального прогнозирования и регионального анализа предлагаются две системы метеорологических наблюдений с использованием спутников: с централизованной обработкой данных (глобальное прогнозирование) и с автономным использованием данных (региональная оценка и прогноз).

*Централизованная система* обеспечивает получение моментальных телевизионных изображений облачного покрова, последовательно охватывающих все участки поверхности Земли, над которыми проходят орбиты метеоспутников. Изображения запоминаются в бортовом запоминающем устройстве и сохраняются до момента вхождения ИСЗ в зону связи с наземной станцией приема данных и управления ИСЗ, после чего по командам с Земли начинается передача всех изображений, полученных за один оборот ИСЗ относительно Земли.

*Автономная система* в отличие от централизованной не имеет на ИСЗ бортовой аппаратуры запоминания данных. Изображение с телевизионной передающей трубки, кратковременно сохраняющего его, передается автоматически на автономные наземные станции приема данных. Автономная система позволяет обеспечить метеорологическими данными практически без задержки достаточно большие географические районы. Для получения от ИСЗ информации о метеоусловиях в каком-либо районе необходима приемная станция, оснащенная аппаратурой регистрации телевизионных изображений. Для получения изображения каждого района Земли регулярно около полудня (в это время наблюдаемые районы хорошо освещены) желательно применение так называемых солнечно-синхронных орбит, плоскость которых поворачивается (прецессирует) синхронно с обращением Земли вокруг Солнца в восточном направлении. Орбитальная плоскость спутника должна быть компланарна с направлением Земля – Солнце. Необходимая скорость прецессии обеспечивается при запуске выбором соответствующего угла наклона орбиты к экватору.

В первом приближении скорость прецессии восходящего узла орбиты в рад/с определяется по формуле:

$$\dot{\Omega} = -10[1 + (h_a + h_n)/R_3]^{-3,5} \cos i,$$

где:  $R_3$  – экваториальный радиус Земли;

$i$  – угол наклона орбиты;

$h_a, h_n$  – высота апогея, перигея.

Так как прецессия в восточном направлении имеет положительный знак, то угол наклона солнечно-синхронной орбиты больше 0,5 п.

Для упрощения обработки полученных изображений и сохранения неизменных характеристик разрешающей способности целесообразны круговые или близкие к ним орбиты. Для фиксирования быстротекущих атмосферных явлений (вихревых шквалов, грозových областей), особенно частых в низких широтах, наиболее благоприятны стационарные орбиты.

Наиболее целесообразными считаются системы, составленные из четырех и шести метеоспутников, обращающихся на полярных круговых орби-

тах высотой 600...2000 км, расположенных так, чтобы спутники одновременно находились примерно на одной широте (орбиты разнесены по долготе).

Система метеорологических ИСЗ может выполнять также задачи по сбору и передаче в единый центр метеорологических данных с отдельных морских и воздушных метеостанций.

Спутники космической метеорологической системы «Метеор» обеспечивают получение комплексной метеоинформации: телевизионной, инфракрасной, актинометрической с освещенной и теневой сторон Земли (актинометрия – раздел метрологии, изучающий солнечные, земные и атмосферные излучения в атмосфере и гидросфере). Основные характеристики российских метеорологических ИСЗ системы «Метеор» приведены в табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1.1

## Основные характеристики российских метеорологических ИСЗ системы «Метеор»

Наименование характеристик	Значение характеристик
Тип орбиты	Круговая околополярная
Высота орбиты, км	625...630
Состав метеорологической аппаратуры	Телевизионная (ТВ) (две камеры). Инфракрасная (ИК) телевизионного типа (в диапазоне волн 8...12 мкм). Актинометрическая (АК) – радиометры (по два сканирующих узкосекторных и несканирующих широкосекторных прибора)
Ширина полосы захвата (на местности), км:	
ТВ аппаратурой	1000
ИК аппаратурой	1000
АК аппаратурой	2500
Пространственное разрешение (в надире), км:	
ТВ изображений	1,25x1,25
ИК изображений	15x15
АК аппаратуры	50x50
Чувствительность к температурным перепадам ИК аппаратуры, °С	2...3 при положительных и 7...8 при отрицательных температурах
Источник питания	Солнечные и химические батареи

Метеорологические спутники SMS (США) предназначены для съёмки облачного покрова в дневное и ночное время со стационарной орбиты (100° з. д.), а также для ретрансляции метеорологической информации. Они должны передавать снимки облачного покрова каждые 30 мин.

**Навигационные ИСЗ.** Навигационные ИСЗ служат для навигации подвижных объектов.

С 1978 г. после запуска нескольких ИСЗ серии "Космос" на орбиты, близкие к полярным, начала функционировать система "Цикада", которая обеспечивала решение навигационных задач для морских судов. Она в любое время суток независимо от погоды совместно с наземными контрольно-измерительными центрами и аппаратурой "Шхуна", размещаемой на судах, позволяет определять координаты плавучих средств со среднеквадратиче-

ской ошибкой 80...100 м. При этом экономится 7...8 % ходового времени за счет выбора оптимальных судовых маршрутов. В настоящее время функционирует глобальная спутниковая система (ГЛОНАСС) полный состав, которой должен включать 24 ИСЗ.

В 1995 году произведено развертывание КНС "ГЛОНАСС", которая позволяет неограниченному числу потребителей в любой точке Земли, воздушного и космического пространства независимо от метеоусловий с высокой точностью определять свои координаты, скорость движения и точное время.

Орбитальная группировка системы должна состоять из 24 спутников ГЛОНАСС, находящихся на круговых орбитах с высотой около 19100 км, наклоном 64,8 градуса и периодом обращения 11 часов 15 минут в трех орбитальных плоскостях. Орбитальные плоскости разнесены по долготе на 120 градусов, в каждой плоскости размещаются по 8 спутников с равномерным сдвигом по широте на 45 градусов.

Кроме этого, сами плоскости сдвинуты относительно друг друга по аргументу широты на 15 градусов. Такая конфигурация орбитальной группировки позволяет обеспечить непрерывное и глобальное покрытие навигационным полем (то есть совокупностью излучаемых спутниками навигационных сигналов) всей поверхности земного шара и воздушного пространства, а также оптимальное пространственное расположение спутников, что повышает точность навигационных определений.

Орбитальная система из навигационных ИСЗ в совокупности с наземной системой обеспечения и бортовой аппаратурой определяющих объектов в настоящее время применяется для установления местоположения объекта в заданной системе координат в любое время суток, при любых метеоусловиях и неограниченной пропускной способности. В качестве опорной радионавигационной величины (ориентира с известными координатами в данный момент времени) используется заданная во времени и пространстве с определенной точностью траектория движения спутника. Траектория ИСЗ во времени задается периодически обновляемыми эфемеридами в системе единого времени. Значения эфемерид вводятся в бортовое запоминающее устройство ИСЗ и автоматически передаются вместе с сигналами точного времени.

В зависимости от методов измерения параметров, характеризующих относительное положение ИСЗ и определяющегося объекта, различают несколько способов определения местоположения объекта: дальномерный, угломерный, дальномерно-угломерный и другие способы.

**Геодезические ИСЗ.** Геодезические ИСЗ предназначены для решения геометрических и динамических (физических) задач геодезии.

Геометрические задачи сводятся к определению положения точек на земной поверхности и установлению точных геодезических связей между континентами и обособленными объектами (например, островами) в целях приведения их к единой системе координат, привязки с высокой точностью отдельных пунктов к сетям триангуляции (создание глобальной геодезической сети и ее уплотнение), определения точных координат отдельных пунктов на земной поверхности, обеспечения картографирования.

Динамические задачи сводятся к уточнению формы, размеров и гравитационного поля Земли, установлению её истинной формы, определению потенциалов гравитационного поля и гравитационных аномалий и к установлению законов их изменения. Так, с помощью обработки орбитальных изменений в настоящее время определены коэффициенты при членах разложения в ряд гравитационного потенциала Земли до 14-го порядка.

Специальные геодезические ИСЗ используются как опорные точки, то есть точки с точно известными в данный момент координатами. В зависимости от метода задания координат текущего местоположения ИСЗ различают два способа решения геодезических задач. При первом способе используются данные точного прогнозирования орбит ИСЗ (как это делается при навигационных определениях с применением ИСЗ); при втором способе координаты текущего местоположения ИСЗ определяются измерениями с нескольких наземных пунктов (угломерных или дальномерных), координаты которых известны. Первый способ позволяет произвести геодезическую привязку любых пунктов, оснащенных необходимой аппаратурой. Однако достигнутые в настоящее время точности прогнозирования орбит (несколько десятков метров) пока еще не приемлемы для геодезии. На практике используется второй способ, который может применяться для взаимной привязки пунктов, относительно которых спутник в течение определенного времени находится одновременно в зоне видимости. Этот способ может быть реализован на основании применения оптических угломерных и радиотехнических (дальномерных, доплеровских и угломерно-дальномерных) систем для измерений местоположения ИСЗ с наземных пунктов.

Для оптических угломерных измерений местоположения ИСЗ спутники оборудуются бортовыми импульсными источниками света (оптическими маяками) или используются для отражения сигналов оптических квантовых генераторов наземных станций. В целях обеспечения высокой точности угломерных измерений ( $\pm 1 \dots 2''$ ) на наземных пунктах применяются специальные высокоточные фототеодолитные установки с последующей обработкой на компараторе полученных фотографических изображений ИСЗ на фоне звезд. Высокая точность обеспечивается также фиксацией времени измерений, задаваемого бортовым эталоном. Сигналы единого времени передаются по радиолиниям орбитальных измерений.

В радиотехнических дальномерных системах используются радиолокационные измерения дальности с несколькими сопряженных пунктов, для чего на борту геодезического ИСЗ устанавливается до четырех приемопередатчиков (по числу сопряженных пунктов), работающих на разных частотах. Как и при угломерных методах, моменты измерений фиксируются во времени по сигналам бортового эталона времени.

Орбиты для геодезических ИСЗ должны быть близкими к круговым на высоте 1000...1400 км (ИСЗ с оптическим маяком) или круговые на высоте около 1000 км (ИСЗ с радиотехнической аппаратурой для дальномерных измерений).

**Спутники для изучения земных ресурсов.** Основные области применения КА для разведки земных ресурсов – это сбор разнообразных океанографических данных, наблюдение за сельскохозяйственными культурами и лесными массивами, геологическая разведка, измерение толщины снежного покрова и наблюдение за передвижением льдов, оценка земельных участков в интересах землепользования, оценка качества воды, тепловое и топографическое картирование местности, сбор данных для прогнозирования стихийных бедствий (например, землетрясений, наводнений, лесных пожаров).

В основу использования КА для изучения земных ресурсов положено следующее физическое свойство: любое вещество поглощает, излучает, рассеивает или отражает в определенной степени электромагнитную энергию и характеризуется присущей ему сигнатурой, которая связана с длиной волны и молекулярным строением вещества. Благодаря этому возможно дистанционное измерение с помощью обширного класса приборов, которые могут определить (обнаружить и зарегистрировать) сигнатуру вещества без непосредственного контакта с ним.

Наиболее целесообразными для экспериментальных полетов КА в целях изучения земных ресурсов считаются солнечно-синхронные круговые орбиты на высотах 500...900 км.

В состав наземного комплекса входят станции слежения, пункты сбора информации, передаваемой непосредственно или ретранслируемой через спутники связи, центр управления и центр обработки информации. Обработка данных включает декодирование, нормализацию, трансформирование, привязку к местности, извлечение информации, индексацию и хранение.

**Космические аппараты для межпланетных полетов.** Конструкция межпланетных КА отличается рядом особенностей, связанных с длительным воздействием факторов космического пространства. Это учитывается подбором специальных материалов, герметизацией отдельных узлов, применением специальных покрытий, максимально стойких по отношению к метеорной эрозии, специальной противометеорной защитой (на космических кораблях) [1.3].

Орбитальные межпланетные станции состоят из следующих основных частей: приборного отсека, блока баков двигательной установки, корректирующего двигателя с узлами автоматики, солнечной батареи, антенно-фидерного устройства, радиаторов системы терморегулирования.

Для автоматических межпланетных станций серий «Зонд», «Марс», «Венера» характерны такие режимы работы: длительная ориентация рабочих поверхностей солнечных батарей на Солнце, точная ориентация относительно небесных ориентиров перед коррекцией траектории, ориентация параболической антенны на Землю для установления информативной связи, стабилизация при работе корректирующего ракетного двигателя.

При проектировании системы управления для межпланетных КА необходимо учитывать некоторые особенности межпланетного перелета. К ним относятся точность наведения КА на цель в момент выхода из траектории пассивного полета; наличие переходной орбиты и прохождение её через различные области космического пространства, вследствие чего элементы орбиты

претерпевают возмущения и изменяются; необходимость коррекции на участке пассивного полета вследствие огромной величины межпланетных расстояний, неизбежных ошибок при выведении КА на орбиту и неточного знания астрономических постоянных; необходимость использования на КА специальных (инфракрасных или радарных) систем наведения для коррекции и управления на промежуточном и конечном участках траектории полета, а также использования БЦВМ для предвычисления траектории КА; наличие системы жизнеобеспечения; необходимость повышенной надежности всей аппаратуры при полетах КА с людьми на борту; требование малого веса при получении максимума информации; необходимость приспособливать межпланетные траектории к условиям радиосвязи в момент сближения с исследуемой планетой, усложнение системы космической связи, так как при посадке космической экспедиции на Луну и другие небесные тела требуется поддерживать связь с КА, остающимся на планетоцентрической орбите, и с Землей; определенное время пребывания на некоторых планетах (оно не может быть произвольным), так как старт в сторону Земли допустим лишь при благоприятном расположении Земли и исследуемого небесного тела относительно Солнца.

Особенности навигации межпланетных КА:

- значительная протяженность каналов передачи сигналов, что требует больших мощностей передатчиков, высокой чувствительности приёмников, применения пространственной и частотной селекции;
- автономный характер работы КА, что предопределяет стремление к использованию методов самоопределения;
- возрастание значения оператора и его квалификации в связи с повышением роли автономных навигационных определений;
- ограниченность энергоресурса (поэтому траекторию полета выбирают из условий минимальности затрат энергии и наилучшего использования гравитационного поля Солнца и планет);
- проведение измерений на межпланетных трассах по всей траектории с предельно возможной точностью (при этом особенно ответственны измерения перед включением двигателя для коррекции траектории или для выполнения длительного маневра).

Межпланетный полет отличается от околопланетного также составом измеряемых параметров. При самоопределении в межпланетном пространстве навигационными параметрами служат [1.3]:

1. *Угловой размер  $\Omega_*$  планеты или Солнца.* Измеряемый угол доставляет информацию непосредственно о дальности  $r$  КА до поверхности планеты, радиус которой  $R_n$ , так как

$$r = R_n (\operatorname{cosec} 0,5 \Omega_* - 1).$$

Если измерения проводятся относительно Солнца, то  $r = R_\odot \operatorname{cosec} \Omega_*$ .

2. *Угол  $\gamma_*$  между центрами двух планет или планеты и Солнца.* Если с помощью двух оптических теленгаторов визировать направления на центры двух планет, то угол между линиями визирования определяется по выражению:

$$\gamma_* = \arccos[(\rho_1^2 + \rho_2^2 - d)/(2\rho_1\rho_2)],$$

где:  $\rho_1, \rho_2$  – расстояния от КА до центров планет;  
 $d$  – база, образованная линией, соединяющей центры планет.

3. Угол  $\omega_*$  между направлением на звезду и на центр планеты или на центр Солнца. Координаты КА  $x'', y'', z''$  и измеренный угол  $\omega_*$  связаны уравнением конической поверхности:

$$(x'')^2 + (y'')^2 = (z'')^2 \operatorname{tg}^2 \omega_*$$

и преобразуются в прямоугольные координаты  $x, y, z$  по формулам, учитывающим переход от планеты к Солнцу и повороты на углы  $\alpha$  и  $(90^\circ - \delta)$ ;

$$x'' = [(x - x_n) \cos \alpha - (y - y_n) \sin \alpha] \sin \delta - (z - z_n) \cos \delta,$$

$$y'' = (x - x_n) \sin \alpha + (y - y_n) \cos \alpha,$$

$$z'' = [(x - x_n) \cos \alpha - (y - y_n) \sin \alpha] \cos \delta - (z - z_n) \sin \delta,$$

где:  $\alpha$  – прямое восхождение звезды;

$\delta$  – склонение звезды.

4. *Дальность  $\rho$  до центра планеты.* С помощью радиотехнических дальномеров, работающих в режиме ретрансляции или с хранением начала отсчета на борту, находится расстояние  $r$  до некоторой точки на поверхности планеты. По координатам навигационной точки и размерам планеты расстояние  $r$  пересчитывается в дальность до центра планеты.

5. *Радиальная скорость  $\dot{r}$  относительно навигационной точки.* На борту КА по измерениям доплеровского смещения частоты определяется радиальная составляющая скорости  $\dot{r}$  относительно навигационной точки (НТ), излучающей сигналы.

6. *Разность дальностей  $\Delta r$  до двух орбитальных НТ.* Разностно-дальномерная методика проявляет свои достоинства на таких удалениях от НТ, которые соизмеримы с размером базы, их связывающей. Базы могут быть образованы точками, размещенными на поверхности планет или на их искусственных спутниках.

### 1.3. Конструктивно-компоновочные схемы космических аппаратов

#### 1.3.1. Требования к компоновочным схемам КА

*Компоновка КА* – объединение систем, агрегатов и блоков в единую конструкцию, предназначенную для запуска на заданную траекторию в целях надежного выполнения в течение определенного времени функциональных задач, определяемых назначением КА.

Примерный состав космического аппарата приведен на рис. 1.1.



**Рис. 1.1. Примерный состав космического аппарата**

При компоновке КА должны быть достигнуты следующие характеристики [1.3]:

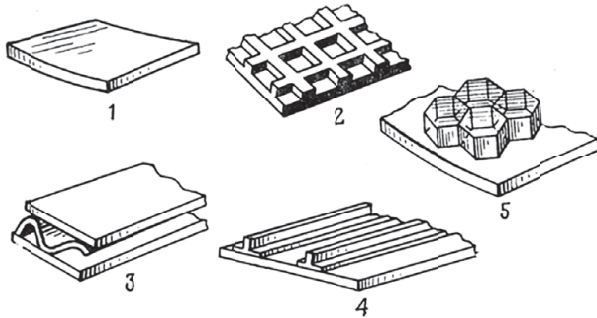
- минимальная масса при заданной надежности;



- минимальные нагрузки на ракету-носитель вследствие изгибающего момента динамических нагрузок, в том числе аэродинамического сопротивления;
- оптимальная по условиям запуска и космического полета форма; оптимальное распределение внутреннего пространства в отсеках КА и размещение аппаратуры и агрегатов КА, обеспечивающее терморегулирование, удобный доступ, замену (при необходимости) до запуска;
- минимальное влияние динамических нагрузок и неравномерности распределения масс в полете на системы ориентации и стабилизации;
- минимальное перемещение центра масс и изменение момента инерции при расходовании топлива;
- минимальное влияние вибраций, возникающих при запуске и в полете;
- возможность совершенствования КА в пределах данной конструкции; приемлемая стоимость;
- относительная простота изготовления и сборки.

*Распределение массы КА.* Соотношение масс систем и конструкции с учетом запаса топлива и других расходных материалов должно соответствовать ограничениям, налагаемым на общую массу КА, и быть оптимальным с точки зрения выполняемых функций, надежности, стоимости и т. п. Конструкции современных КА делят на компактные, разворачиваемые и надувные.

Конструкции оболочек корпусов КА бывают монококовые, вафельные, слоистые, усиленные стрингерами, сотовые (рис. 1.2).



**Рис. 1.2. Типы конструкций оболочек космических аппаратов:**

**1 – монокок; 2 – вафельная; 3 – слоистая; 4 – усиленная стрингерами; 5 – сотовая**

Слоистые оболочки усиливают стрингерами. При выборе типа оболочки следует учитывать необходимость обеспечения заданной прочности и устойчивости конструкции при минимальной массе, а также степень приспособленности для крепления других элементов конструкции, возможность осуществления метеоритной и радиационной защиты (особенно для обитаемых КА и ОС), технологичность конструкции.

*Вибрационная устойчивость конструкции КА.* Источником вибрации КА являются акустические шумы и колебания, возникающие при работе двигателей РН и собственных двигателей. В первые 5...10 с после запуска уровень шумов (для РН типа «Титан-III») достигает 165 дБ на частоте 100 Гц, перегрузки при этом могут быть восьмикратными. Менее восприимчивы к вибрации компактные конструкции, имеющие высокие резонансные частоты. При этом клепаные конструкции более виброустойчивы, чем сварные, так как время успокоения и коэффициент усиления колебаний у первых конструкций меньше, чем у вторых.

*Форма корпуса КА.* Наиболее важен выбор формы для КА, стабилизируемых вращением. Сферическая форма корпуса обеспечивает малую величину отношения массы к площади поверхности КА, постоянную площадь проекции КА на Солнце, а также создает благоприятные условия для работы солнечных батарей, терморегулирования и стабилизации вращением. Однако на шаровых корпусах затруднен монтаж элементов солнечных батарей и т. п. Компромиссным решением является КА в форме многогранника.

Форма корпуса и его покрытие определяют условия терморегулирования на борту КА.

*Температурный режим и теплоизоляция.* Теплоизоляция должна обеспечивать в заданных пределах защиту корпуса КА и его оборудования от аэродинамического нагрева на участке траектории вывода на орбиту и от лучистой энергии в космосе. Для герметических отсеков КА, в которых поддерживается определенная влажность атмосферы, теплоизоляция должна обеспечивать температуру внутренних стенок КА выше температуры точки росы.

Для обеспечения благоприятного теплового режима на борту КА рекомендуется узлы с малым тепловыделением изолировать от других элементов и блоков (тепловыделение и теплопоглощение в пределах одного узла), узлы с высоким тепловыделением размещать на открытой поверхности холодной стороны или обеспечивать теплоотвод от них к излучающим поверхностям корпуса.

*Конструкция ёмкостей (баков).* Наиболее целесообразной формой для ёмкостей на борту КА является сфера (при прочих равных условиях она обеспечивает максимальную прочность, минимальное перемещение центра масс и изменение момента инерции КА при расходе содержимого баков, максимальный объём при заданной поверхности). При необходимости ёмкости выполняются в виде многосферической сообщающейся конструкции.

### **1.3.2. Конструктивные особенности пилотируемых космических аппаратов**

В состав оборудования пилотируемого космического корабля (КК) входят следующие системы: жизнеобеспечения, аварийного спасения, возврата и посадки, ручного управления, стыковочные узлы.

При разработке конструкции КК учитывают необходимость защиты экипажа от вредного воздействия вибраций и шумов, радиации и метеороидов, космического вакуума, нагрева при входе в плотные слои атмосферы.

*Система аварийного спасения (САС)* обеспечивает спасение экипажа в случае аварийной ситуации на старте и на последующих этапах полета. Спасение экипажа при аварии РН на старте и на начальном участке полета может быть осуществлено:

- отбрасыванием целиком КК или отсека экипажа от РН на безопасное расстояние с помощью специального твердотопливного двигателя с последующим включением системы посадки;
- катапультированием космонавта вместе с креслом через автоматически открываемые люки в корпусе КК и приземлением космонавта на индивидуальном парашюте.

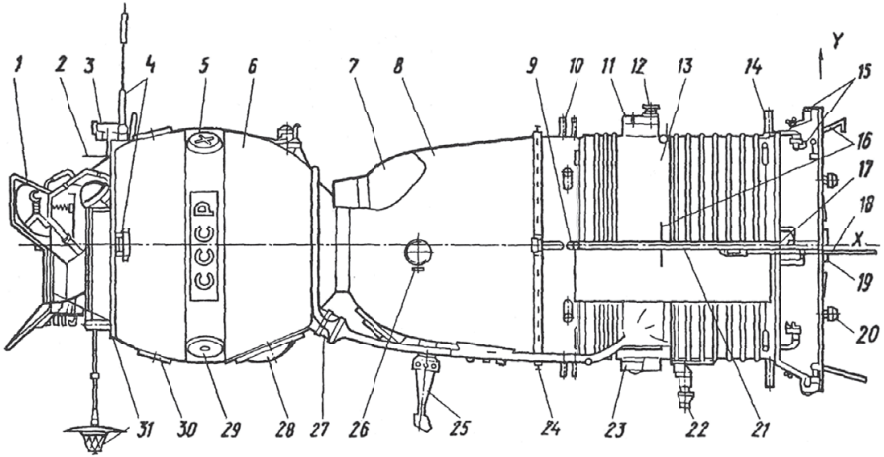
Первая система обычно применяется в сочетании с автоматической системой обнаружения аварийной ситуации и включения САС (в частности, на РН с криогенными компонентами топлива). Второй тип САС применяется в сочетании с полуавтоматической системой обнаружения аварийной ситуации и включения САС (обычно на РН с высококипящими компонентами топлива, так как у экипажа достаточно времени для принятия решения на полуавтоматическое включение САС).

*Обеспечение возвращения КК на Землю.* Конструктивно КК строятся таким образом, что на Землю возвращается не весь КК, а только часть его, как правило, отсек экипажа с минимально необходимым количеством оборудования и аппаратуры. Это позволяет упростить и облегчить конструкцию КК, понизить требования к системе аэродинамического торможения и спасения КК за счет его облегчения, облегчить управление входом в плотные слои атмосферы и спуском КК, сократить потребности в топливе для управления входом.

Спускаемые отсеки строятся, как баллистические аппараты, с тупой передней частью, что обеспечивает малую величину отношения массы отсека к лобовому сопротивлению. Теплозащиту лобовой части спускаемого отсека обеспечивает *абляционный щит*, состоящий из металлического экрана, который является частью сферы, и абляционного покрытия (стекловолокно, пропитанное специальной смолой и т. п.). Теплозащита боковой поверхности обеспечивается обычно двухстенной конструкцией корпуса. Межстенное пространство заполняется теплоизоляционным материалом, а наружная оболочка изготавливается из материала с высокой теплоемкостью и теплостойкостью (например, бериллия). Двухстенная конструкция обеспечивает также акустическую и метеоритную защиту.

*Стыковочный узел* – агрегат, предназначенный для жесткого механического соединения космических кораблей (их отдельных отсеков, КК с орбитальной станцией или автоматическим КА соответствующей конструкции) на завершающем этапе их сближения (причаливания) для дальнейшего совместного космического полета.

В качестве примера пилотируемого КК на рис. 1.3 приведена компоновочная схема КК «Союз». На внешней его поверхности располагаются антенные устройства, датчики системы ориентации, оптические устройства, телекамеры, датчики научной аппаратуры.



**Рис. 1.3. Космический корабль "Союз":**

- 1 – периферийный агрегат стыковки; 2 – стыковочные мишени;**
- 3 – телекамера внешнего обзора; 4 – антенны радиосвязи; 5 – антенны телевидения;**
- 6 – орбитальный отсек; 7 – отстреливаемая крышка люка парашютного отсека;**
- 8 – кабина космонавтов; 9 – бортовые огни ориентации;**
- 10 – двигатели причаливания и ориентации; 11 – проблесковый маяк;**
- 12 – датчик ориентации на Солнце; 13 – приборно-агрегатный отсек; 14 – двигатели причаливания и ориентации; 15 – двигатели ориентации;**
- 16 – антенны систем телеметрии; 17 – бортовой огонь ориентации;**
- 18 – антенны связи экипажа с Землей; 19 – сближающе-корректирующая ДУ;**
- 20 – ионные датчики; 21 – солнечные батареи; 22 – датчик инфракрасной вертикали;**
- 23 – проблесковый маяк; 24, 29 – антенны траекторных измерений;**
- 25 – визир-ориентир; 26 – иллюминатор; 27 – гермоплата; 28 – люк;**
- 30 – иллюминатор; 31 – антенны радиосвязи**

#### **1.4. Конструктивные особенности обитаемых орбитальных станций**

Обитаемая орбитальная станция (ООС) – комплексный многоцелевой КА, выводимый на геоцентрическую орбиту и приспособленный для выполнения экипажем из нескольких человек в течение длительного времени функций, связанных с управлением и обслуживанием установленного на борту оборудования и аппаратуры. В целях уменьшения стоимости ООС, их универсального использования и совершенствования рекомендуется модульный принцип разработки многоцелевых ООС, который позволяет наращивать ООС, собирать большие ООС из отдельных отсеков, заменять от-

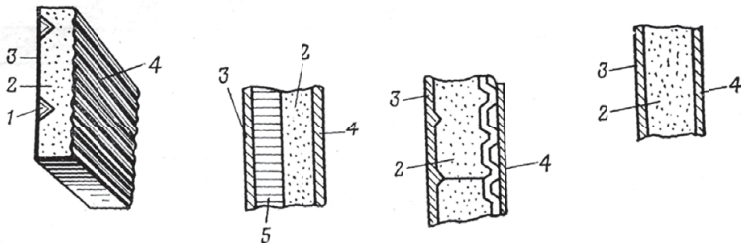
дельные модули вместе с аппаратурой, гибко изменяя тем самым частично или полностью назначение и специализацию.

Для успешного длительного функционирования комплекс ООС должен иметь систему материально-технического снабжения, включающую транспортные КК с отсеками для экипажей и грузов, или систему заменяемых модулей. На первом этапе создания ООС транспортные КК могут выполнять функции малой ООС с ограниченным сроком функционирования (30...60 дней).

При разработке тактико-технических требований к ООС применяют статистические методы определения задаваемых характеристик (объема, массы, потребляемой мощности, потребных ресурсов рабочего времени экипажа), отбирая достаточно большие совокупности конкретных задач, подлежащих решению на борту ООС. Все модули такой орбитальной станции, за исключением отсеков экипажа транспортных КК, разрабатываются как невозвращаемые на Землю конструкции. Длительное нахождение экипажа на борту ООС, ограниченные возможности (из-за стоимости) частой смены экипажа и другие факторы обуславливают ряд специфических требований к конструкции ООС: обеспечение искусственной гравитации, радиационной и метеоритной защиты, максимальную регенерацию на борту средств жизнеобеспечения (кислорода и воды) и др. Искусственная гравитация может создаваться периодически или постоянно за счет центробежных сил путем вращения конструкции ООС (внешняя центрифуга) или вращения специального контейнера относительно ООС.

Для построения больших (сборных) ООС могут применяться надувные и разворачиваемые конструкции. В целях обеспечения радиационной защиты рекомендуются слоистые конструкции с наполнением из пенопласта как более эффективного защитного материала с оболочкой из металла или синтетических волокнистых материалов. Для уменьшения массы радиационной защиты считается целесообразным снижение уровня радиации внутри корпуса ООС путём рационального размещения аппаратуры вдоль стенок корпуса.

Наиболее эффективны для метеоритной защиты многослойные конструкции (рис. 1.4) с применением пенопласта.



**Рис. 1.4.** Разновидности конструкции оболочки корпуса орбитальной станции:  
1 – стрингер; 2 – слой пенопласта; 3 – оболочка корпуса; 4 – буферная оболочка;  
5 – сотовая конструкция с полиуретановым наполнителем.